

JP2000-326036A

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-326036

(P2000-326036A)

(43) 公開日 平成12年11月28日 (2000. 11. 28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
B 2 1 F 35/00		B 2 1 F 35/00	A 3 J 0 5 9
C 2 1 D 1/42		C 2 1 D 1/42	L 4 E 0 7 0
9/02		9/02	A 4 K 0 4 2
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Z
38/48		38/48	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

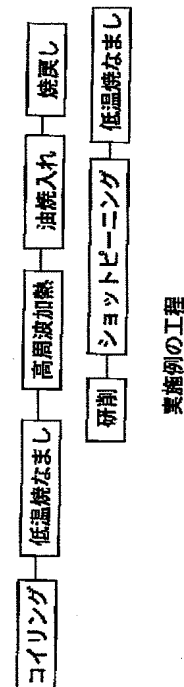
(21) 出願番号	特願平11-136418	(71) 出願人	000151597 株式会社東郷製作所 愛知県愛知郡東郷町大字春木字蛭池1番地
(22) 出願日	平成11年5月17日 (1999. 5. 17)	(72) 発明者	近藤 覚 愛知県愛知郡東郷町大字春木字蛭池1番地 株式会社東郷製作所内
		(74) 代理人	100081776 弁理士 大川 宏
		Fターム(参考)	3J059 AD05 BA01 BC02 EA02 EA09 GA02 GA07 GA12 4E070 AB09 AC01 4K042 AA02 CA06 CA08 CA09 CA10 CA13 DA01 DB01 DF02

(54) 【発明の名称】 冷間成形コイルばねの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高強度、高耐疲労性を確保しつつ、冷間成形コイルばねの生産性の向上を図る。

【解決手段】 コイルばね用鋼材を伸線加工した後、オイルテンパー処理して絞り38%以上の線材とし、該線材を冷間でコイルリング成形し、その後、少なくとも高周波誘導加熱装置を用いて焼入れをおこなうことを特徴とする冷間成形コイルばねの製造方法。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コイルばね用鋼材を伸線加工した後、オイルテンパー処理して絞り 38%以上の線材とし、該線材を冷間でコイルリング成形し、その後、少なくとも高周波誘導加熱装置を用いて焼入れをおこなうことを特徴とする冷間成形コイルばねの製造方法。

【請求項 2】 前記高周波誘導加熱装置は、高周波発生電源と、加熱コイルと、被加熱物であるコイルばねを回転させる回転手段を備えるものであり、前記焼入れは該コイルばねを回転させつつ高周波誘導加熱するものである請求項 1 記載の冷間成形コイルばねの製造方法。

【請求項 3】 前記コイルばね用鋼材は、重量%で、炭素を 0.55～0.75%と、珪素を 1.0～2.5%と、マンガンを 0.3～1.5%と、ニッケルを 1.0～4.0%とクロムを 0.5～2.5%とモリブデンを 0.1～1.0%とからなる第 1 金属群より選ばれる 2 種以上の金属と、バナジウムを 0.05～0.6%とニオブを 0.05%～0.6%とからなる第 2 金属群より選ばれる少なくとも 1 種以上の金属とを含有し、残部は実質的に鉄とからなる請求項 1 記載の冷間コイルばねの製造方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、エンジン用バルブ・スプリング、駆動系部品であるクラッチデスクのダンパ・スプリング、自動車の懸架用コイルばね等に使用され高強度高耐疲労性の冷間成形コイルばねの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 コイルばねは、自動車を初めとする多種多様な機械に数多く使用されている。繰返し応力が作用するコイルばねには、耐へたりと耐疲労性が求められる。言い換えると、高い弾性限度（若しくは引張り強度）と疲労限度が要求される。これらは、コイルばねの材質及び加工履歴によるところが大きいので、適切な鋼材を選択し、適切な加工を順次行う必要がある。

【0003】 コイルばねを大別すると冷間成形コイルばねと熱間成形コイルばねとに大別され、いずれに属するかで使用される鋼材も加工方法も異なる。線径が大きくなると常温でのコイルリングが困難なため、前者は比較的線径の大きなもの（ $\phi 15\text{mm}$ 以上）を、後者は比較的線径の小さなものを対象としている。熱間成形は、通常、線材を 900℃前後に加熱してコイルリングし、その後焼入れ、焼戻し等を行って、機械的性質を調整している。

【0004】 冷間成形は、硬鋼線材やピアノ線材を繰返し冷間伸線した後、冷間コイルリングし、低温焼きなまし

等を行うのが一般的である。コイルリング前の線材は、加工硬化により十分な強度が与えられているために、コイルリング後に別途焼入れ等を行わないのが通常である。また、より高い耐へたり性と耐疲労性が要求され、高温域で使用されるコイルばね、例えばエンジンのバルブ・スプリング等は、冷間伸線した線材をオイルテンパー処理（油焼入れ焼戻し）してから、冷間コイルリング、低温焼戻し等を経て製造される。ただ、この場合でも、コイルリング後に別途焼入れ等は行っていない。

【0005】 このバルブ・スプリングを例にとり、冷間成形コイルばねの現状を以下に説明する。バルブ・スプリングは、高温下で、毎分数千回の大きな繰返し応力を受けることから、最も過酷な状況下で使用されるコイルばねの一つであるといえる。しかも、最近の自動車エンジンの高出力化及び軽量化のために、バルブ・スプリングは一層の高強度および高耐疲労性が要求されるようになってきている。

【0006】 そしてこれに代るべく、従来からオイルテンパー線の強度を一層高めるべく開発が進められてきた。ところが、オイルテンパー線の強度を高くすれば高くするほど絞りが悪化し、冷間でのコイルリングが困難となり、コイルリング時の折損が多発し、歩留まりが悪く、生産性が下がるという問題があった。

【0007】 そこで、例えば特開平 4-247824 号公報や特開平 5-179348 号公報では、冷間コイルリング成形を諦め、温間コイルリングや熱間コイルリングによる製造方法を提示している。また、特開平 8-41533 号公報には、オイルテンパー線を高温焼戻しし、焼き鈍し線材としてから、冷間コイルリング後に焼入れ焼戻しを行う高強度、高耐疲労性をもつコイルばねの製造方法の開示がなされている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、特開平 4-247824 号公報、特開平 5-179348 号公報のものは、別途、温間コイルリングマシン若しくは熱間コイルリングマシンの設置が必要となり、多額の費用がかかるとともに、線材を昇温するのに時間がかかり、生産性が低下する。

【0009】 特開平 8-41533 号公報では、冷間コイルリング成形自体は容易になるものの、その後の焼入れに長時間を要しているために、結果的に生産性の向上が望めない。これでは、熱間成形の場合と大差がなく、冷間成形のメリットが生かせない。また、オイルテンパー処理をしているにも拘わらず、別途高温焼戻しを行い、冷間コイルリング後にまた焼入れ焼戻しを行っているため、熱処理の回数が多く、不経済であると共に時間的にも生産性が低くなる。また、高温で長時間の熱処理が多いため、元々高強度、高靱性であるオイルテンパー線自体の特性を生かし難い。つまり、冷間加工後に再結晶温度以上に長時間加熱すると、結晶粒の成長により組織

10

20

30

40

50

が粗大化し、耐疲労性の点から好ましくない。

【0010】本発明は上記の事情に鑑みてなされたもので、高強度で、耐疲労性および生産性に優れた冷間成形コイルばねの製造方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の課題を解決すべく鋭意研究を重ね、コイルばねの製造方法を十分検討した。そして、本発明者らの調査によると、冷間でコイルリング成形した後に、高周波誘導加熱を利用したコイルばねの焼き入れ（高周波焼入れ）は、従来な

【0012】そこで、本発明者らは従来とは全く異なる視点に立ち、線材の絞りを増加させて冷間コイルリング成形を容易としつつ、その後に、高周波焼入れを行うことで、従来以上に高強度及び高耐疲労性を有するコイルばねの製造方法を思い付くに至ったものである。すなわち、本発明の冷間成形コイルばねの製造方法は、コイルばね用鋼材を伸線加工した後、オイルテンパー処理して絞り38%以上の線材とし、該線材を冷間でコイルリング成形し、その後、少なくとも高周波誘導加熱装置を用いて焼入れをおこなうことを特徴とする。

【0013】本発明によれば、線材の引張り強さ σ_b を絞り38%以上とすることにより、線材の冷間コイルリング成形が容易となり、コイルリング時に折損等の発生がなく、歩留まりが高まり、コイルばねの生産性が向上する。また、冷間コイルリング後に高周波誘導加熱装置を用いて高周波焼入れを行うために、コイルばねの強度を十分に高めることもできる。

【0014】高周波焼入れは短時間に為されるため、焼入れ後の結晶組織が微細で、高強度、高靱性というオイルテンパー線の特性を損うことなく、従来と同等以上の高強度及び高耐疲労性のコイルばねを得ることができたものである。さらに、冷間成形コイルばねに高周波焼入れを行うと、冷間成形コイルばねは比較的線径が細いため、その内部まで、短時間に焼入れを行うこともできる。

【0015】所望の絞りを得るためには、炭素の重量%や他の合金成分の重量%を調整しても良いし、オイルテンパー処理の際の焼戻し温度を調整しても良いし、両者を組み合わせても良い。いずれにしても、別途の熱処理や工数を追加する必要がなく、生産性の向上が図れる。例えば、許容範囲内で炭素の重量%を多少低くしたり、オイルテンパー処理の焼戻し温度を多少高温にするとよい。

【0016】具体的には、その焼戻し温度を500～700℃とすると、オイルテンパー線の特性を損うことなく冷間コイルリング成形が容易となり、好ましい。また、絞りを40%以上とすると、冷間コイルリング成形が一層容易となり、好都合である。また、所望の絞り値を確保しつつ、引張り強さ $\sigma_b=1400\sim2300\text{MPa}$

aとすると、高強度で、耐疲労性および生産性に優れた冷間成形コイルばねを得るのに好ましい。また、引張り強さ $\sigma_b=1400\sim1800\text{MPa}$ とすると、冷間コイルリング成形が一層容易になり好ましい。

【0017】また、ばね指数 $D/d10$ 以下の小さいばねを加工するときに、本発明の製造方法を適応すると、冷間コイルリング成形が容易となり、好適である。ここで、 D はコイルばねのコイル中心径、 d は線径である。高周波誘導加熱装置は、高周波誘導加熱を利用したものであり、焼入れのために、コイルばねを加熱するのに用いられる。

【0018】高周波誘導加熱の原理は、交番磁界の中に導電性をもつ被加熱物をおくと、渦電流が発生し、その渦電流損（オーム損）により自己発熱し、さらに被加熱物が鋼材のような磁性体であるときにはヒステリシス損による自己発熱が加わるものであり、周知のところである。そして、Maxwellの電磁方程式から導かれるように、高周波の場合、導電性のある被加熱物の内部に進むに従って渦電流の密度が減少し、その表面近傍に電流が集まる「表皮効果」がある。熱の放散もなく、極短時間でかつ効率よく、被加熱物の表面を加熱できる。

【0019】なお、表皮効果は高周波であるほど、また被加熱物の導電性及び透磁率が高いほど顕著である。このように、高周波誘導加熱は優れた特徴を持ち、また鋼製のコイルばねはその被加熱物に適する。高周波誘導加熱装置を用いてコイルばねを加熱後、焼入れすると、コイルの表面部分を中心に、極短時間で効率よく、焼入れを入れることができ、時間的にも経済的にも生産性の向上を図れる。

【0020】また、高周波誘導加熱装置を利用すれば、使用周波数 f 、供給電力 P 、加熱時間 t の調整が容易であるから、電流の浸透深さ δ 、焼入れ温度 T 、硬化層深さ d の調整も容易である。従って、コイルばねの線径、コイル外径などに合わせて所望の硬化層を得やすい。さらに、冷間加工後の再結晶温度以上の加熱時間が短いため、結晶粒の成長を抑制し、微細な結晶粒組織とすることができ、コイルばねの耐へたり、耐疲労性を高められる。特に、比較的線径が細い場合（例えば、 $\phi 5\text{mm}$ 以下）、短時間加熱により微細結晶としつつ、より内部深くまで硬化層を形成でき、硬化層の深さを45～100%とすると耐疲労性が一層増し好ましい。更に、線径が比較的太い場合（例えば、 $\phi 5\text{mm}$ 以上）、硬化層の深さを45～75%とすると、耐疲労性が一層増し好ましい。

【0021】勿論、内部では優れたオイルテンパー線の特性を生かしつつ、疲労破壊の起点となる表層部分のみ硬化し、耐疲労性を向上させることも有効である。また、高周波焼入れにより表面焼入れされた部分は耐摩耗性に優れるため、コイルばねの外周部若しくは内周部、端面部分に耐摩耗性が要求される場合には一層好まし

い。

【0022】ここで、「絞り」とは、ある材料の試験片を引張試験した場合に、その試験片破断後における最小断面積（A）と試験前における試験片の原断面積

（A₀）との差の原断面積（A₀）に対する比φ（百分率）のことであり、 $\phi = (A_0 - A) / A_0 \times 100$ （%）で表されるものである。また、「冷間」とは、再結晶温度以下を、オイルテンパー処理とは、加熱後に油冷却して焼入れを行う熱処理を、オイルテンパー線とは、オイルテンパー処理された線材を意味している。

【0023】

【発明の実施の形態】前記の高周波誘導加熱装置は、高周波発生電源と、加熱コイルと、被加熱物であるコイルばねを回転させる回転手段を備えるものであり、前記焼入れは該コイルばねを回転させつつ高周波誘導加熱するものとする、一層好適である。高周波発生電源から加熱コイルに高周波誘導電流を供給することで、コイルばねを誘導加熱できる。

【0024】さらに回転手段により、コイルばねは回転しつつ高周波誘導加熱されるから、コイルばね表面部分全体を均一に加熱、焼入れできるものである。これにより、加熱コイルの形状、コイルばねと加熱コイルとの相対的な位置関係、加熱されるコイルばねの個数等の影響を抑制しつつ、安定した加熱、焼入れが可能となる。高周波発生電源としては、電動発電機式発振器、電子管式発振器、サイリスタインバータ式発振器などがあるが、トランジスタインバータ式発振器を用いると、より高い周波数（10～500kHz）、出力（200kW級）、変換効率（90～95%）が得られる。

【0025】加熱コイルの形状は特に限定されるものではないが、交番磁束密度を高めるためには、単層より複層の環状であることが好ましい。環状である限りにおいては、円形、方形等何でも良く、被加熱物であるコイルばねの形状に合わせるとより良い。コイルばねは、内側において剪断応力が最大になることから、内側の表面部分が十分加熱されるものでなければならない。従って、コイルばねの外周部の全部若しくは一部を覆うような加熱コイルでも良いが、コイル径が大きい場合には、コイル内側から加熱するようなコイル形状とすることも有意義である。

【0026】また、コイルばねの外周を囲む筒状の加熱コイルをコイルばねと同軸状に配置するよりは、コイルばねの外周軸方向に沿って、環状になった加熱コイルをコイルばねの外側面に配置する方が好ましい。つまり、交番磁束がコイルばねの軸方向を貫くようにせず、コイルばねの軸方向と直角になるようにする。前者の加熱コイルの配置では、コイルばねの外周側に渦電流が集中し、コイルばねの内周側の加熱が少なくなるからである。

【0027】また、加熱コイルからの漏れ磁束を防ぎ、

コイルばねを効率よく加熱するためにも、単数若しくは複数のコアを適宜加熱コイルに設けるのも良い。被加熱物が疎巻きのコイルばねのような場合は、漏れ磁束も多いことから有効である。コアの材料としては、透磁率の高いものが好ましく、鉄心等が用いられる。鉄心の材料は、珪素鋼、パーマロイ（Ni-Fe系合金）、フェライトなどが好ましい。コア自体の発熱を避けるべく、より導電性の低い（電気抵抗の大きい）コアを用いると好ましく、例えば、鉄と樹脂の粉末を焼結したものなどがある。

【0028】また、加熱コイル及びコアは、適宜冷却するのが好ましい。加熱コイルには大電流が流れるため、抵抗値が低くても発熱し、また、その周囲の導電性のあるものも高周波誘導加熱されるからである。例えば、管材で加熱コイルを形成し、その内部に冷却水を通すことで、加熱コイルを冷却できる。次に、回転手段について検討すると、種々のものが考えられるが、例えば、コイルばねを載置できるターンテーブル等がある。この場合、載置されるコイルばねは複数でもよい。また、複数のバネが必ずしも同方向を向いている必要はないが、交番磁束の方向から、同方向を向いている方が効率的である。

【0029】加熱コイルに対してコイルばねが相対回転するものであればよく、必ずしもコイルばね自体が回転する必要はない。ただ、装置を簡略化するには加熱コイルよりコイルばねを回転させる方が装置の構造を簡略化し易い。回転手段の回転方向や回転数等は、加熱コイルの形状、コイルばねと加熱コイルとの配置関係、コイルばねの大きさ等に応じて適宜選択するものである。また、回転数Nは使用周波数fと加熱時間tとの影響を考慮する必要がある。特に、加熱時間tが小さいときは、ある程度速い回転数とする方が、コイルばねの均一な加熱と生産性の点から好ましい。たとえば、加熱時間tが1～20秒のとき、回転数Nは2～10回転/秒程度とするのが良い。

【0030】高周波誘導加熱装置の一例を図1に示す。図1（a）はその平面図を、図1（b）はその正面図を示す。この高周波誘導加熱装置は、加熱コイル20と、回転手段30と、高周波発生電源40とからなり、回転手段30は、保持台31と、支柱32と、モータ33で構成される。被加熱物であるコイルばね10は、コイル内側から支柱32に挿入され、保持台31に載置される。モータ33は、保持台31及び支柱32を回転させることで、コイルばね10を回転させる。加熱コイル20は、湾曲した縦長の馬蹄形をしており、コイルばね10の外半周部を覆うように近接して配置されている。加熱コイル20の両電極は、十分な耐電圧、耐電流をもつコード21により高周波発生電源40の電極に接続されている。高周波発生電源40は、加熱コイル20に高周波誘導電流を供給するものであり、周波数f、供給電圧

V、供給電流Iの調整は最低限可能である。

【0031】ここで、線径 $\phi 2\sim 4\text{mm}$ のコイルばねを例にとると、使用周波数 $f=80\sim 100\text{kHz}$ 、供給電圧 $E=10\sim 15\text{kV}$ 、供給電流 $I=5\sim 10\text{A}$ 、加熱時間 $t=1\sim 20$ 秒に設定すると、焼入れ温度 $T=800\sim 1100^\circ\text{C}$ 、硬化層 $d1\sim 2\text{mm}$ が得られる。コイルばね10の内側や端面部分を十分加熱するために、保持台31及び支柱32は非磁性材料であること望ましい。

【0032】また、図1では、コイルばね10を1個のみ配置したが、支柱32を延長して縦方向に複数のコイルばね10を串刺ししたものを一発加熱若しくは移動加熱するものでも良い。生産性を向上するために、焼入液の噴射を加熱の後に連続して行えるようにすると一層好適である。

【0033】更に、焼戻しや低温焼きなましに高周波誘導加熱装置を用いると好適である。短時間処理が可能で、生産性の向上が図りやすく、また炉加熱のように長時間加熱をしないため、炭化物が微細分散析出してより優れた靱性、耐疲労性が得られるからである。次に、コイルばね用鋼材は、重量%で、炭素を $0.55\sim 0.75\%$ と、珪素を $1.0\sim 2.5\%$ と、マンガン $0.3\sim 1.5\%$ と、ニッケル $1.0\sim 4.0\%$ とクロム $0.5\sim 2.5\%$ とモリブデン $0.1\sim 1.0\%$ とからなる第1金属群より選ばれる2種以上の金属と、バナジウム $0.05\sim 0.6\%$ とニオブ $0.05\sim 0.6\%$ とからなる第2金属群より選ばれる少なくとも1種以上の金属とを含有し、残部は実質的に鉄とかなると、一層好適である。

【0034】本組成のコイルばね用鋼材は、より絞りを大きくするのに適しており冷間コイルリング成形を一層容易にすることができると共に、コイルばねの強度、耐へたり性及び耐疲労性を格別に向上させることができ、非常に好ましい材料である。特に、このコイルばね用鋼材は、より高靱性なオイルテンパー線を得ることができるために、絞りを 38% 以上とするときは勿論のこと、絞りを 35% 以上とした場合でも、折損等を起さずに冷間コイルリング成形を行うことができ、さらにその後の高周波焼入れ性も良く、従来以上に高強度で、高耐疲労性を備えたコイルばねを得ることができる。

【0035】炭素(C)は焼入れ・焼戻し鋼線の強度(硬さ)を左右する元素で、 0.55% 未満ではコイルばねとして必要な強度が得られず、 0.75% を超えて添加してもそれ以上強度上の利点がないので上限を 0.75% とした。珪素(Si)は、フェライト地に固溶し強度を上げ耐疲労性を向上させるための元素で、 1.0% 未満では効果が低く、 2.5% を越すと靱性の低下と製造時の脱炭が著しくなり、好ましくない。

【0036】マンガン(Mn)は焼入れ性を高め、熱処理後の強度と靱性を確保するための元素であり、そのた

めに 0.3% 以上必要であるが、 1.5% を超えて添加すると靱性が損なわれるので好ましくない。第一金属群を構成するニッケル(Ni)、クロム(Cr)およびモリブデン(Mo)は、焼入れ性を上げ、あるいは焼戻し軟化抵抗を高め、微細な炭化物を析出することにより、熱処理後のコイルばねの強度と靱性を向上せしめる元素である。

【0037】これら第一金属群の金属は少なくとも2種類の金属を複合して含有することが好ましい。ニッケル(Ni)は、 $1.0\sim 4.0\%$ 添加することが有効であり、 1.0% 未満ではその効果が得られず、 4.0% を超えて添加してもそれ以上の効果が得られない。

【0038】クロム(Cr)は、焼入れ性および焼戻し軟化抵抗を高め、また微細な炭化物を析出することにより、ばねに強度と靱性を付与する元素であり、そのためには 0.5% 以上の添加が必要であるが、 2.5% を超えると「へたり」易くなり、好ましくない。モリブデン(Mo)も、焼入れ性および焼戻し軟化抵抗を高め、また微細な炭化物を析出することにより、ばねに強度と靱性を付与する元素であるが、 0.1% 未満ではその効果が認められず、また 1.0% を超えても効果が飽和してしまうので好ましくない。

【0039】第二金属群を構成するバナジウム(V)およびニオブ(Nb)は結晶粒の微細化、析出硬化により、強度、耐へたり性を向上せしめる元素である。両元素は、 $0.05\sim 0.60\%$ 以下の範囲で、1種または2種を複合して含有することが好ましく、それぞれの元素は、含有量が 0.05% 未満では効果がなく、 0.60% を超えても効果は飽和するので好ましくはない。

【0040】なお、不純物としてリン(P)、硫黄(S)を含む場合は、共に 0.025% 以下とするのが耐疲労性の観点から好ましい。次に、本発明の製造方法に関連する工程を中心に説明する。コイルばね用鋼材は、たとえば、疵取加工、熱間圧延、皮むき、焼鈍し、冷間伸線の工程を順におこなうことによりコイルばね製造用の冷間線材に加工することができる。

【0041】絞り 38% 以上のオイルテンパー線を得るためには、冷間伸線をオイルテンパー処理する際に、高温焼戻しを行うとよい。焼戻し温度は、高いほど絞りが増し、引張り強さ σ_b が低下するが、高すぎると線材の靱性を損なうから $500\sim 700^\circ\text{C}$ が好ましい。また、冷間コイルリング成形後に、低温焼きなまし(若しくはブルーイング)を行うと、加工歪みがとれ、有害な残留応力(引張り残留応力)が解放され、コイルばねの耐疲労性が増すため好ましい。結晶組織の微細化のため、加工の程度にもよるが、加熱時間は短い方が好ましく、また、加熱温度は再結晶温度以下(通常 $150\sim 550^\circ\text{C}$)が好ましい。

【0042】もっとも、その後に高周波誘導加熱を行うことを考えれば、低温焼きなましを省略してもよい。高

周波誘導加熱については上述した通りであり、コイルばねを回転させつつ行うことで、均一な加熱ができ、焼き斑の発生を回避できる。焼き入れには、高周波誘導加熱後直ちに油冷するのが好ましい。冷却速度が水冷に比べ遅いため、均一に冷却され、焼き歪みを抑制できる。

【0043】更にその後、高靱性とすべく焼戻しを行うのが望ましい。焼戻し温度は、所望の硬度に合わせて選択する。この後、ガス窒化処理を行っても良い。コイルばねの表面層の硬度を上げることができると共に、圧縮残留応力が加わって、耐疲労性の向上に有効である。また、後に行うショットピーニングと併せれば、表面粗さも良好に保てる効果があり、表層部の圧縮残留応力が一層増加して好都合である。

【0044】この窒化処理は、例えば従来と同様にアンモニア雰囲気中に $420 \sim 550^\circ\text{C} \times 1 \sim 24$ 時間で処理することにより所定の窒化層を形成できる。上述した材料で行った場合には、表面付近のビッカース硬さ $600 \sim 1100 \text{HV}$ となる。この後、端面研削を行い、コイルばねを所定の寸法とするのが通常である。なお、端面研削は窒化処理の前でも良い。

【0045】次に、ショットピーニングを行い、コイルばねの表層部に圧縮残留応力を付与するのが好ましい。これにより、耐疲労性が格別に向上する。更には、第1ショットピーニング工程と第2ショットピーニング工程からなる高強度2段階で実施すると一層好ましい。これにより、コイルばねの表面に圧縮残留応力のピーク値をもてくることができ、また、より内部まで圧縮残留応力を付与できる。

【0046】なお、第2ショットピーニング工程では、第1ショットピーニング工程で使用したショットよりも小径で硬いショットを用いるとよい。例えば、第1ショットピーニング工程のショットの粒径が $\phi 0.5 \sim 0.6 \text{mm}$ 、ビッカース硬さが $500 \sim 600 \text{HV}$ とすると、第2ショットピーニング工程のショットは、粒径 $\phi 0.1 \sim 0.3 \text{mm}$ 、ビッカース硬さが HV で $700 \sim 800$ の範囲のものを使用するとよい。

【0047】また、第1ショットピーニング工程では、 $70 \sim 100 \text{m/s}$ の速度でインペラー投射し、内部の深い位置まで圧縮残留応力を形成しておき、第2ショットピーニング工程では、圧力 $0.3 \sim 0.7 \text{MPa}$ のエア投射を行って表面部の圧縮残留応力を増大させるのもよい。第2ショットピーニング工程により、表面粗さも改善され、また前述したように前処理として窒化処理を行っておくと、表面粗さおよび表面部の圧縮残留応力が向上し、一層好ましい。

【0048】その他、所望のコイルばねに応じて、ストレスピーニングや温間ピーニングなどを行うのも良い。また、荷重方向が一定のコイルばねには、ショットピーニングの後にセッチングを行うのが好ましい。塑性ひずみを与えることにより、弾性限（比例限）が著しく向上

するからである。更には、この後に低温焼きなましを行うことにより、弾性限を更に向上させることができる。これはひずみ時効によるものであり、耐へたり性を向上させるのに好ましい。通常、 $150 \sim 300^\circ\text{C}$ で低温焼きなましを行う。また、 $200 \sim 400^\circ\text{C}$ の温間セッチングを行うことにより、格別に耐へたり性を向上させることができ、作用応力の大きい自動車の懸架コイルばねやエンジン用バルブ・スプリングなどには好ましい。

【0049】本発明のコイルばねの製造方法は、エンジン用バルブ・スプリング、クラッチディスクやロックアップ式トルクコンバータのダンパー・スプリング、または自動車等の懸架コイルばねなどの製造に好適である。また、本発明の製造方法の対象は、コイルばねであれば、その形状を問わない。例えば、バルブ・スプリングのように圧縮コイルばねでも良いし、また、引張りコイルばねでもよい。また、線形コイルばねでも良いし、不等ピッチのコイルばねや鼓形若しくは樽形コイルばねのように非線形コイルばねでも良い。更には、円形断面のものでも、矩形断面のものでもよい。

20 【0050】

【実施例】以下、実施例により本発明を具体的に説明する。

（第1実施例）本実施例で使用したコイルばね用鋼材（SWOXX-V）は、炭素 0.64 重量%（以下、%は特に明記されていない限り重量%を意味する。）、珪素 1.43% 、マンガン 0.67% 、燐 0.015% 、硫黄 0.006% 、クロム 1.57% 、モリブデン 0.57% 、バナジウム 0.26% 、残部鉄とからなる合金鋼を、疵取加工、熱間圧延、皮むき、焼鈍しの各処理した後、冷間伸線し、オイルテンパー処理を行った。

【0051】ここで、オイルテンパー処理は、輻射炉を用いて $900^\circ\text{C} \times 1$ 分間（？）加熱してから、油焼入れを行い、その後、鉛炉を用いて $640^\circ\text{C} \times 1$ 分間加熱して焼戻しを行った。これにより、絞り 50% で、引張り強さ 1600MPa 、 $\phi 3.2 \text{mm}$ のオイルテンパー線を得た。

【0052】これ以降は図2に示す工程に基づき、所望の冷間成形コイルばねを製造した。先ず、前記のオイルテンパー線を冷間でコイルリングし、線径 3.2mm 、コイル中心径 $\phi 20.0 \text{mm}$ （コイル外径 $\phi 23.2 \text{mm}$ ）、総巻数 6.0 巻、有効巻数 4.0 巻、のコイルばねに成形した。オイルテンパー線の表面は酸化スケールで覆われており潤滑性があり、また引張り強さ σ_b と絞りが前記のような値であったことから良好なコイルリング性を示した。

【0053】その後、 $450^\circ\text{C} \times 20$ 分の低温焼戻しを行った。次に、前述した図1の高周波誘導加熱装置を用いて、大気雰囲気中にて、高周波誘導加熱によりコイルばねを 1000°C に加熱した。このとき、使用周波数 $f = 80 \text{kHz}$ 、供給電圧 $V = 13.71 \text{kV}$ 、供給電流

$I = 8.8 \text{ A}$ 、コイルばねの回転数 $n = 5 \text{ 回/秒}$ であった。

【0054】1000℃に昇温後、5秒間保持し、その直後に焼入液に投入して油焼入れを行った。過熱開始から焼入れ終了までに15秒を要した。なおここで示したコイルばねの温度は、放射温度計を用いてその表面温度を測定したものである。

【0055】後述する比較例と同様の硬さ（ビッカス硬さ：560～610HV）となるように、高周波焼入れ後に460℃×20分間で焼戻しを行った。この焼戻しは電気炉（大気雰囲気）により加熱し、その後、空冷した。次に、両端面を研削し、自由長47mmのコイルばねとした。このとき、ばね定数32.1N/mmであった。

【0056】次に、粒径 $\phi 0.6$ でビッカス硬さ550HVのRCW（ラウンド・カット・ワイヤー・ショット）を、73m/s×20分でインペラー投射してショットピーニングを行った。次いで、電気炉（大気雰囲気）により加熱し、225℃×20分間の低温焼なましを実施した。

【0057】第2実施例、第3実施例及び比較例についても同様です。

（第2実施例）本実施例は、高周波焼入れ時の焼入れ温度のみを940℃に設定して、高周波誘導加熱を行った以外は、第1実施例と同様である。この誘導加熱の際、使用周波数 $f = 80 \text{ kHz}$ 、供給電圧 $V = 12.63 \text{ kV}$ 、供給電流 $I = 8.0 \text{ A}$ 、コイルばねの回転数 $n = 5 \text{ 回/秒}$ であった。

（第3実施例）本実施例は、高周波焼入れ時の焼入れ温度のみを880℃に設定して、高周波誘導加熱を行った以外は、第1実施例と同様である。この誘導加熱の際、使用周波数 $f = 80 \text{ kHz}$ 、供給電圧 $V = 11.48 \text{ kV}$ 、供給電流 $I = 7.2 \text{ A}$ 、コイルばねの回転数 $n = 5 \text{ 回/秒}$ であった。

（比較例）本比較例では、第1実施例と同様のコイルばね用鋼材（SWOXX-V）を使用した。そして疵加工、熱間圧延、皮むき、焼鈍しの各処理した後、冷間伸線し、オイルテンパー処理を行った。

【0058】このオイルテンパー処理として、従来通り900℃×1分間（？）加熱して油焼入れを行い、その後、550℃×1分間加熱して焼戻しを行った。これにより、絞り37%で、引張り強さ2050MPa、 $\phi 3.2 \text{ mm}$ のオイルテンパー線を得た。これ以降は、図3に示す工程に基づき、所望の冷間成形コイルばねを製造した。高周波油焼入れ・焼戻しを行わなかった以外は、第1実施例と同様である。

【0059】なお、この絞り値でも、冷間コイルリング成形に際して折損はなかった。

（評価）

（1）硬さ

第1から第3実施例及び比較例についてビッカス硬さの分布を測定し、その結果を図4に示した。図4中において、第1実施例、第2実施例、第3実施例及び比較例をそれぞれ1000℃ばね、940℃ばね、880℃ばね及び標準ばねと呼ぶこととする。以下同様である。

【0060】測定には、マイクロビッカス硬さ試験機を用いて、測定荷重を300～500gとした。コイルばねの横断面について、コイルばねの内側からその横断面の中心部に向けて測定した。各実施例については、完成品のみならず、高周波焼入れ後のビッカス硬さも測定したので、その結果を併せて図4に示した。

【0061】なお、コイルばねの内側に着目するのは、内側に作用する剪断応力が外側よりも大きく、通常内側から疲労破壊を起こすからである。これは、以下の測定においても同様である。焼入れ温度が高いほど、焼入れ後のビッカス硬さも高くなった。これは、焼入れ時間が短いため、温度に応じてオーステナイト変態量に差を生じ、結果的にマルテンサイト量に差ができたためと考えられる。もっとも、その差は小さく、特に焼戻しを行った完成品については、比較例を含め、ビッカス硬さに殆ど差がなかった。

【0062】但し、実施例のものはすべて内部まで焼が入っており、比較例のものに比べて硬度が安定していた。このため、各実施例のコイルばねは、比較例のコイルばねに比べ同等以上の強度を有していると考えられる。

（2）圧縮残留応力の分布

第1から第3実施例及び比較例について、コイルばね内側の主応力方向の圧縮残留応力の分布を、X線応力測定機で測定し、その結果を図5に示した。

【0063】表面での圧縮残留応力は何れも約600MPaであるが、表面近傍の0～70 μm の間では、第3実施例のみが圧縮残留応力が小さい。但し、より内部においては、各実施例とも、比較例より圧縮残留応力が大きくなっており、全体的な積分値を考えれば、何れの実施例も比較例と同等以上の圧縮残留応力をもっていると考えられる。

（3）表面粗さ

第1から第3実施例及び比較例について、コイルばね内側の表面粗さを、表面粗さ計で測定し、その結果を図6に示した。

【0064】図中、 R_{max} は最大高さを、 R_z は十点平均粗さを示し、単位は共に μm である。いずれの実施例も比較例より表面粗さは向上している。

（4）結晶組織

第1から第3実施例及び比較例について、各コイルばねを湿式切断機で切断し、埋め込み樹脂に埋め込み、研磨紙でパフ仕上げしたものをナイタールで腐食させ、コイルばねの内側部分を金属顕微鏡（倍率：100倍）で観察した。その組織写真を図7の（a）～（d）に示す。

【0065】実施例のコイルばねは何れも、比較例のも

のに比べて組織が微細化している。また、表層部においても、特に荒れた様子もなく良好であり、表面の粒界酸化も認められない。また、この顕微鏡観察に基づいて各実施例と比較例について結晶粒度 N を求め、図8に示した。実施例のものは何れも比較例のものに比べて、結晶が微細化しているのが分かる。

【0066】なお、結晶粒度 N は、組織の単位面積 1 m^2 を 100 倍で観測し、 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ の間にある結晶粒の数を n として、 $n=2^{N-3}$ を満たす数である（JISの旧オーステナイト結晶粒度に対応する。）。従って、結晶粒度 N が大きいほど、結晶粒は微細ということになり、平均結晶粒径 $d^2=4/\pi n \approx 1/n$ と表される。

【0067】各実施例は比較例に対し、結晶粒の数にして $4 \sim 5$ 倍の数に増加している、換言すれば、結晶粒径は $1/2$ 程度になっており、高周波焼入れにより、結晶粒の微細化が進んでいるのが解る。

(5) 疲労試験

第1から第3実施例及び比較例について、星型疲労試験機を用いて疲労試験を行い、M. T. T. Fにより解析し平均寿命をそれぞれについて求め、その結果を図9に示した。図9中の○が平均寿命を示す。図9の横軸には、破損するまでの繰返し回数を対数表示した。

【0068】疲労試験は、平均応力 $\tau_m=700\text{ Mpa}$ 、振幅応力 $\tau_a=610\text{ Mpa}$ 、試験速度を 1800 rpm として行った。なお、M. T. T. Fとは、ワイブル確率紙にコイルばねの折損回数をプロットして得られた平均寿命のことである。第1実施例及び第2実施例は、比較例に対して同等以上だが、第3実施例は、やや寿命が低くなった。

(6) 破面観察

第3実施例と比較例のコイルばねについて、折損した破面を電子顕微鏡で観察し、それらの写真を図10

(a)、(b)に示した。

【0069】破断位置は、いずれもコイルばねの有効巻き部分であり、端部での折損はなかった。両写真とも、線材の軸線に対して直角若しくは平行である、コイルばねの内側剪断面を起点として、主応力方向に亀裂が進展した疲労破面であることが解る。その起点付近のコイル表面には有害な加工疵及び材料疵は認められない。

(7) まとめ

以上から、本発明の方法により製造されたコイルばねのうち、少なくとも第1実施例及び第2実施例については、従来の冷間成形コイルばねである比較例と同等以上の機械的性質を持ち、高強度で高耐疲労性のあることが

解った。

【0070】第3実施例については、強度は比較例と同等以上であるが、耐疲労性がわずかながら比較例より劣った。従って、高周波焼入れの際の焼入れ温度を A_{c3} 点以上とすることは勿論のこと、加熱時間を5秒程度にするときには、焼入れ温度を $910 \sim 1010^\circ\text{C}$ とすると一層好ましい。

【0071】より低温で行うときには、結晶粒の粗大化を招かない範囲で、加熱時間を延長するのが望ましい。

【0072】

【発明の効果】本発明の冷間成形コイルばねの製造方法によれば、線材の絞り 38% 以上とすることにより、この線材の冷間コイルリング成形が容易となり、コイルリング時に折損等の発生がなく、歩留まりが高まり、コイルばねの生産性が向上するまた、冷間コイルリング後に高周波誘導加熱装置を用いて高周波焼入れを行うために、コイルばねの強度を十分に高めることができ、高強度、高靱性というオイルテンパー線の特性を生かしつつ、従来と同等以上の高強度及び高耐疲労性のコイルばねを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例で使用了高周波誘導加熱装置を示す図である。

【図2】実施例の工程を示す図である。

【図3】比較例の工程を示す図である。

【図4】実施例と比較例のコイルばねの硬さ分布を表すグラフである。

【図5】実施例と比較例のコイルばねの残留応力の分布を表すグラフである。

【図6】実施例と比較例のコイルばねの表面粗さを表すグラフである。

【図7】実施例と比較例のコイルばねの内側表面付近における組織の様子を表す写真である。

【図8】実施例と比較例のコイルばねについて組織の結晶粒度を表すグラフである。

【図9】実施例と比較例のコイルばねの疲労試験の結果を表すグラフである

【図10】第3実施例と比較例について、破面の様子を表す写真である。

【符号の説明】

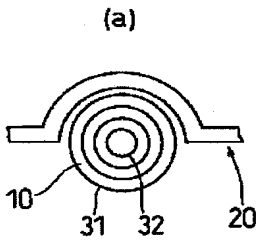
10 コイルばね

20 加熱コイル

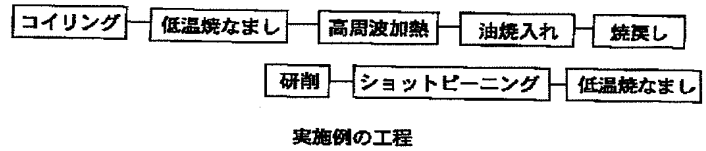
30 回転手段

40 高周波発生電源

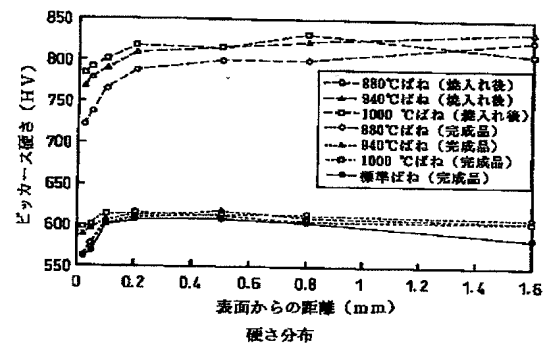
【図 1】



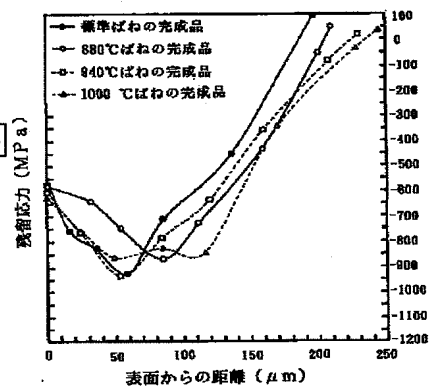
【図 2】



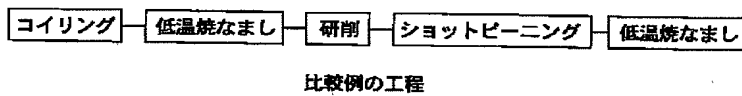
【図 4】



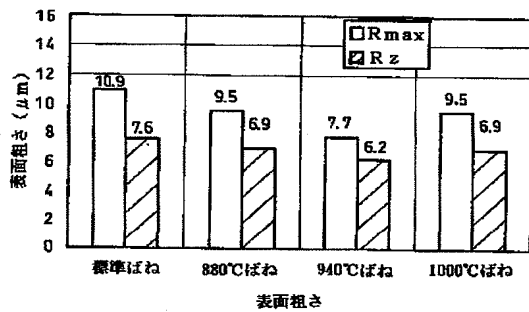
【図 5】



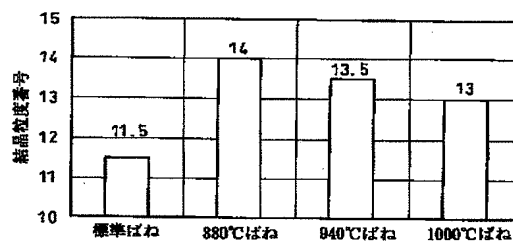
【図 3】



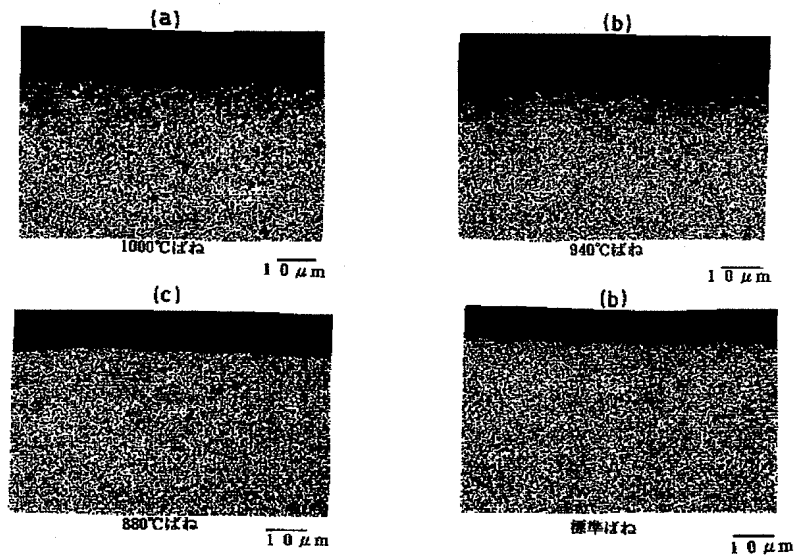
【図 6】



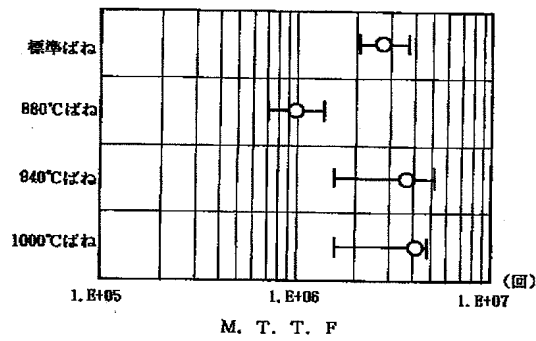
【図 8】



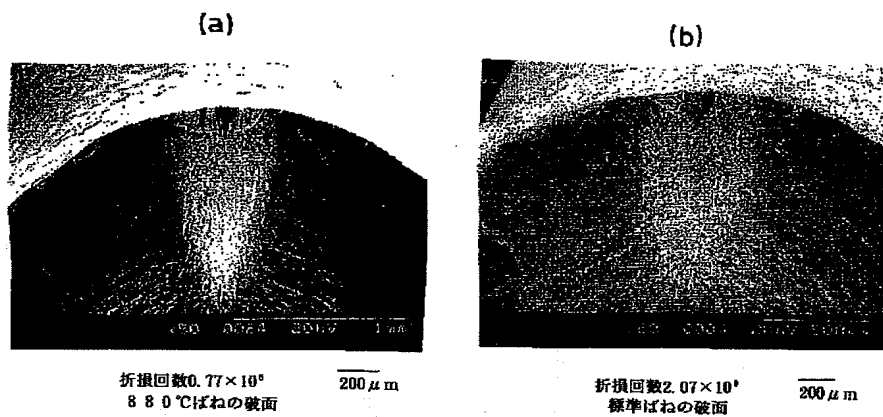
【図 7】



【図 9】



【図 10】



【手続補正書】

【提出日】平成11年6月23日(1999. 6. 23)

* 【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

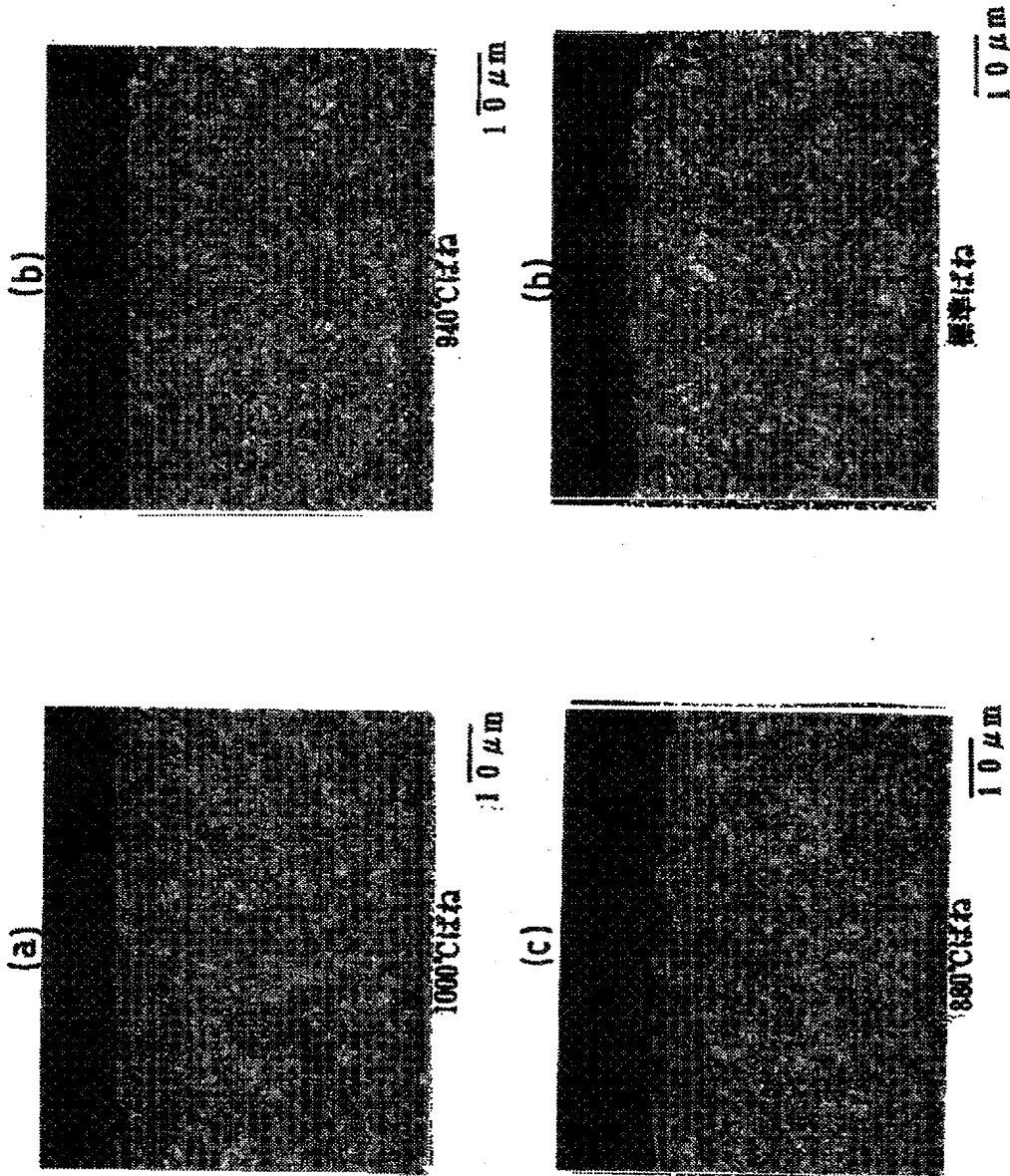
【手続補正1】

【補正対象書類名】図面

*

【図7】

図面代用写真



【手続補正2】

【補正対象書類名】図面

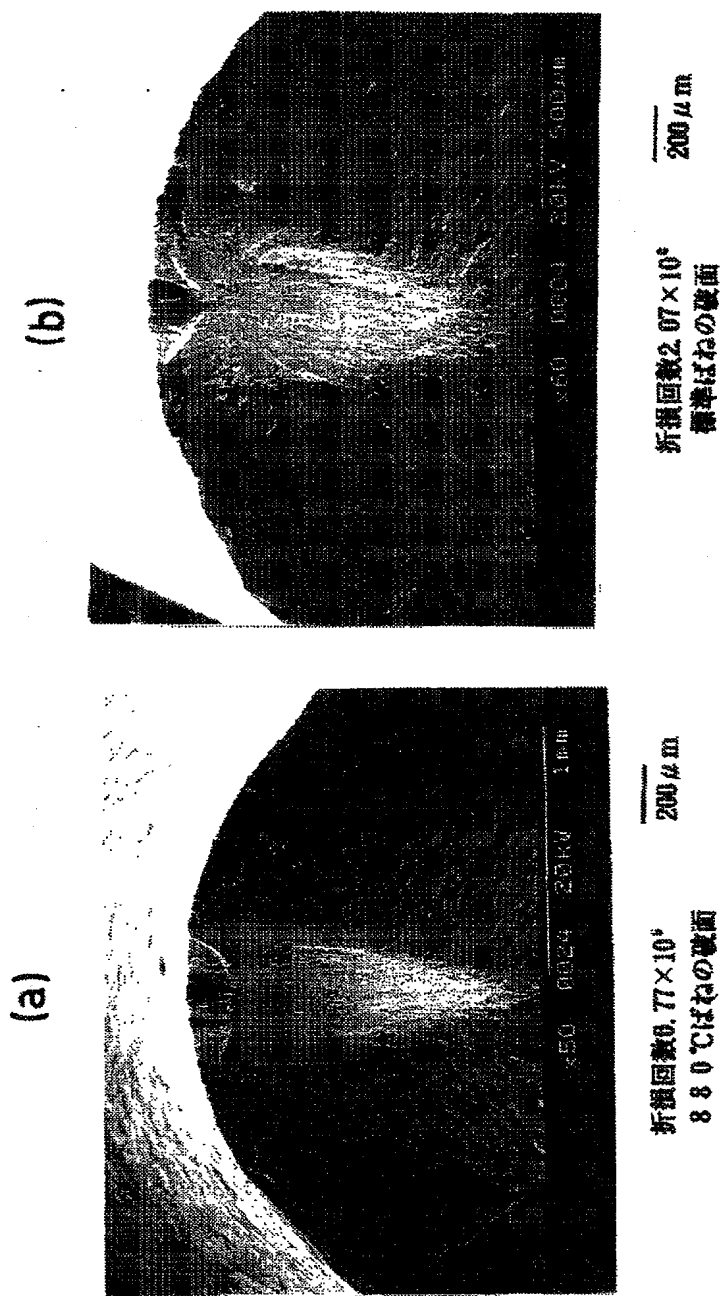
【補正対象項目名】図10

【補正方法】変更

【補正内容】

【図10】

図面代用写真



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷
F16F 1/06

識別記号

FI
F16F 1/06

テーマコード (参考)
A